

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-107362

(P2005-107362A)

(43) 公開日 平成17年4月21日(2005.4.21)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

G02B 17/08

G03F 7/20

H01L 21/027

F I

G02B 17/08

G03F 7/20

H01L 21/30

A

521

515D

テーマコード(参考)

2H087

5FO46

審査請求 未請求 請求項の数 15 O.L. (全 23 頁)

(21) 出願番号

特願2003-342964 (P2003-342964)

(22) 出願日

平成15年10月1日 (2003.10.1)

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(74) 代理人 100090538

弁理士 西山 恵三

(74) 代理人 100096965

弁理士 内尾 裕一

(72) 発明者 山田 順宏

東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内

(72) 発明者 寺沢 千明

東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内

F ターム(参考) 2H087 KA21 TA01 TA05

5F046 BA03 CB02 CB03 CB12 CB25

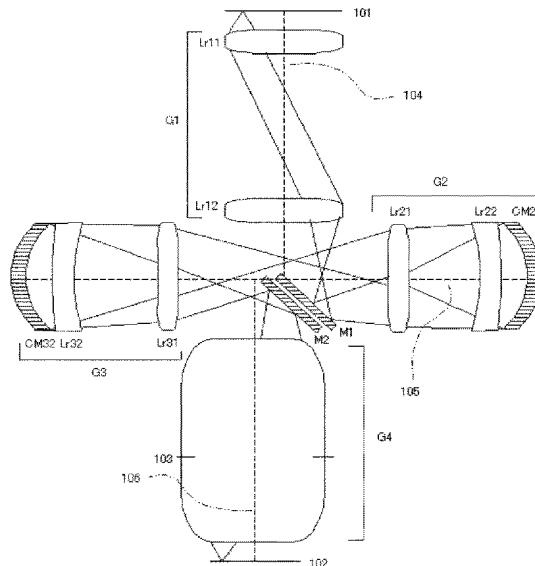
(54) 【発明の名称】 投影光学系及び露光装置、デバイスの製造方法

## (57) 【要約】

**【課題】** 瞳の遮光がなく、像面上で十分な大きさの結像領域幅が得られる投影光学系を提供することを目的とする。

**【解決手段】** 第1物体の像を第2の物体上に形成する投影光学系において、前記第1物体の第1中間像を形成するための第1結像光学系と、前記第1中間像からの光束に基づいて前記第1物体の第2中間像を形成するための第2結像光学系と、前記第2中間像からの光束に基づいて前記第1物体の第3中間像を形成するための第3結像光学系と、前記第3中間像からの光束に基づいて前記第1物体の像を前記第2物体上に形成するための第4結像光学系を備えている。

【選択図】 図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

第1物体の像を第2の物体上に形成する投影光学系において、前記第1物体の第1中間像を形成するための第1結像光学系と、前記第1中間像からの光束に基づいて前記第1物体の第2中間像を形成するための第2結像光学系と、前記第2中間像からの光束に基づいて前記第1物体の第3中間像を形成するための第3結像光学系と、前記第3中間像からの光束に基づいて前記第1物体の像を前記第2物体上に形成するための第4結像光学系を備えたことを特徴とする投影光学系。

**【請求項 2】**

第1結像光学系と前記第2結像光学系のうち一方が屈折光学素子からなる光学系であり、他方が凹面反射鏡を含む光学系であることを特徴とする請求項1記載の投影光学系。 10

**【請求項 3】**

第3結像光学系と前記第4結像光学系のうち一方が屈折光学素子からなる光学系であり、他方が凹面反射鏡を含む光学系であることを特徴とする請求項1又は2に記載の投影光学系。

**【請求項 4】**

第1物体の像を第2の物体上に形成する投影光学系において、前記第1物体の中間像を形成し、屈折光学素子からなる第1部分結像光学系と、前記第1物体から前記第2物体に至る光路において前記第1部分結像光学系と隣接し、凹面鏡を含み、前記第1物体の中間像を形成する第2部分結像光学系と、前記第1物体の中間像を形成し、屈折光学素子からなる第3部分結像光学系と、前記第1物体から前記第2物体に至る光路において前記第3部分結像光学系と隣接し、凹面鏡を含み、前記第1物体の中間像を形成する第4部分結像光学系とを有することを特徴とする投影光学系。 20

**【請求項 5】**

第1物体の像を第2の物体上に形成する投影光学系において、前記第1物体から前記第2物体に至る光路上で連続して配置された、屈折部材から成る結像作用を有した部分光学系と、凹面反射鏡を含む結像作用を有した部分光学系の対を2対以上有することを特徴とする投影光学系。

**【請求項 6】**

前記投影光学系が、前記第1物体側から順に、屈折部材から成る第1結像光学系、凹面反射鏡を含む第2結像光学系、凹面反射鏡を含む第3結像光学系、屈折部材から成る第4結像光学系を有することを特徴とする請求項1乃至5いずれかに記載の投影光学系。 30

**【請求項 7】**

前記第1結像光学系が前記第1物体の第1中間像を形成し、前記第2結像光学系が少なくとも1つの凹面反射鏡を含み、前記第1中間像からの光束に基づいて前記第1物体の第2中間像を形成し、前記第3結像光学系が少なくとも1つの凹面反射鏡を含み、前記第2中間像からの光束に基づいて前記第1物体の第3中間像を形成し、前記第4結像光学系が前記第3中間像からの光束に基づいて前記第1物体の像を前記第2物体上に形成しており、前記第1光学系と前記第2光学の間に少なくとも1つの偏向反射鏡を備え、前記第3結像光学系と前記第4結像光学系の間に少なくとも1つの偏向反射鏡を備えたことを特徴とする請求項6記載の反射屈折投影光学系。 40

**【請求項 8】**

前記投影光学系は、前記第2物体に対して実質的にテレセントリックであることを特徴とする請求項1乃至7いずれかに記載の投影光学系。

**【請求項 9】**

前記第2結像光学系に含まれる凹面反射鏡の直前に少なくとも1つの負レンズを有することを特徴とする請求項1乃至4、6乃至8いずれかに記載の投影光学系。

**【請求項 10】**

前記第2結像光学系が少なくとも1つの正レンズを有することを特徴とする請求項1乃至4、6乃至9いずれかに記載の投影光学系。 50

**【請求項 1 1】**

前記第3結像光学系に含まれる四面反射鏡の直前に少なくとも1つの負レンズを有することを特徴とする請求項1乃至4、6乃至10いずれかに記載の投影光学系。

**【請求項 1 2】**

前記第3結像光学系が少なくとも1つの正レンズを有することを特徴とする請求項1乃至4、6乃至11いずれかに記載の投影光学系。

**【請求項 1 3】**

請求項1乃至12いずれかに記載の投影光学系を有し、該投影光学系を用いて、前記第1物体の像を前記第2物体上に形成することを特徴とする露光装置。

**【請求項 1 4】**

前記第1物体を光源からの光で照明する照明光学系と、前記第1物体の像を前記第2物体上に形成する、請求項1乃至12記載の投影光学系を有することを特徴とする露光装置。

**【請求項 1 5】**

請求項13又は14に記載の露光装置を用いて被露光体を露光する露光工程と、前記露光された被露光体を現像する工程とを有することを特徴とするデバイスの製造方法。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本発明は投影光学系、および該投影光学系による投影露光装置、デバイス製造方法に関し、特にレチクルパターンを半導体ウエハ上に投影露光する投影光学系に、反射鏡を用いた反射屈折投影光学系に関するものである。

**【背景技術】****【0002】**

近年、集積回路の高集積化の要請はますます強くなっている。この為、投影露光装置に搭載されている投影光学系に要求される解像力は更に高まっている。

**【0003】**

一般に解像力を得るためにレンズのNAの高NA化と露光波長の短波長化が行われている。近年の露光光源は、g線（波長約436nm）、i線（波長約365nm）、KrFエキシマレーザー光（波長約248nm）、ArFエキシマレーザー光（波長約193nm）と進み、今後は、F<sub>2</sub>レーザー光（波長約157nm）への短波長化が進むと同時に、レンズのNAもNA0.80を超える投影レンズが求められている。

**【0004】**

しかし、露光波長が短くなると、光の吸収が大きくなり、実用に耐える硝材が限られてしまう。特にF<sub>2</sub>レーザーに短波長化が進むと、透過率等の問題で螢石しか使用することができなくなるため、単一の硝材でいかに色収差を補正するかが大きな問題となってくる。更にレンズのNAが高NA化すると、補正しなくてはならない色収差の量が大きくなる点も問題となる。

**【0005】**

このような色収差の問題を解決するために、色収差を生じることが無く、ペツツバール和に関しては同じ屈折力を有する屈折レンズとは逆の寄与を示す（四面）反射ミラーを使用する反射型の光学系が注目を集めている。このような色収差の問題を解決するために、光学系中にミラーを使用した反射型光学系が種々提案されている。

**【0006】**

例えば、反射系だけで構成されている反射投影光学系が特開平9-211332号公報、特開平10-90602号公報等で開示されている。また、反射系と屈折系を組み合わせた反射屈折投影光学系が、米国特許第5、650、877号明細書、特開昭62-210415号公報、特開昭62-258414号公報、特開昭63-163319号公報、特開平2-66510号公報、特開平3-282527号公報、特開平4-234722号公報、特開平5-188298号公報、特開平6-230287号公報、特開平8-350

04705号公報、特開2002-83766等で開示されている。

【特許文献1】特開平09-211332号公報

【特許文献2】特開平10-090602号公報

【特許文献3】米国特許5650877号公報

【特許文献4】特開昭62-210415号公報

【特許文献5】特開昭62-258414号公報

【特許文献6】特開昭63-163319号公報

【特許文献7】特開平02-066510号公報

【特許文献8】特開平03-282527号公報

【特許文献9】特開平04-234722号公報

10

【特許文献10】特開平05-188298号公報

【特許文献11】特開平06-230287号公報

【特許文献12】特開平08-304705号公報

【特許文献13】特開2002-083766号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

このような露光波長の短波長化や高NA化に対応し、反射系を含んだ投影光学系を構築するとき、色収差補正が可能なことは当然として、理想的には、像面上で十分な大きさの結像領域が得られ、十分な像側作動距離を確保できるような簡素な構成とすることが望ましい。像面上で十分な大きさの結像領域幅が得られれば、走査型投影露光装置ではスループット上有利であり、露光変動を抑えることができる。十分な像側作動距離を確保できれば、装置のオートフォーカス系やウェハーステージの搬送系などを構成する上で好ましい。簡素な構成であれば、メカ鏡筒等も複雑化させることはなく組立製造上のメリットがある。

【0008】

以上のような観点から従来例について検証すると、まず、米国特許第5、650、877号明細書では、光学系中にマンジンミラーと屈折部材を配置して、レチクルの像をウエハに露光するものであるが、この光学系は、使用する全ての画角において瞳の中心部分の遮光（中抜け）が起こるとともに、露光領域が大きくできないという欠点を有している。また、露光領域を大きくしようとすると瞳の中心部分の遮光が大きくなり好ましくなく、さらに、マンジンミラーの屈折面がビームスプリット面を形成しており、その面を通過するごとに光量は半分になり、像面（ウエハ面）では、10%程度に低下してしまうという点等にも問題を有している。

【0009】

また、特開平9-211332号公報、特開平10-90602号公報では、反射系のみによる構成を基本としているが、収差的（ペツツバール和）にもミラー配置の上でも像面上での結像領域幅を十分に確保することが難しく、また主に像面近傍のパワーが大きい凹面鏡が結像作用を有する構成となっているので高NA化が困難であり、該凹面鏡の直前位置に凸面鏡が配置されるため、十分な像側作動距離を確保できないという問題がある。

【0010】

また、特開昭62-210415号公報、特開昭62-258414号公報は、カセグレン型やシュワルツシルト型のミラー系を応用し、ミラー中心部に開口を設けることにより瞳の中抜けを生じさせ瞳の周辺部分のみを結像に寄与させる光学系を提案しているが、瞳の中抜けの結像性能への影響が懸念され、また瞳の中抜けを小さくしようと必然的にミラーのパワーが大きくなるのでミラーへの入反射角も大きくなり、さらに高NA化を図るとミラー径が著しく増大してしまう。

【0011】

また、特開平2-66510号公報、特開平3-282527号公報では、径が大きいビームスプリッターを必要としがれがプリズム型の場合はその厚みにより光量損失が大き

20

30

40

50

い。高NAに際してはさらに径が大きくなるので光量損失もますます大きくなってしまう。ビームスプリッターが平板型の場合は軸上光線においても非点収差、コマ収差が発生してしまい問題がある。また熱吸収による非対称収差の発生や光束分割面での特性変化による収差の発生を招き、製造面で精度良くビームスプリッターを作成することも難しい。

#### 【0012】

特開2002-083766の実施例5では、すべて屈折部材で構成された屈折光学系の2つ部分光学と凹面反射鏡を含んだ1つの反射屈折光学系を組み合わせて、瞳の中抜けの無い反射屈折光学系を提案しているが、高NA化を図ろうとすると、全系のペツツバル和補正の為に、凹面鏡の曲率半径が小さくなり、また、凹面反射鏡の直前の凹面レンズのパワーが大きくなり、高次収差が増加してしまい、光学系全系での収差補正が困難となる。

#### 【0013】

そこで、本発明は、瞳の遮光がなく、像面上で十分な大きさの結像領域幅が得られる反射屈折光学系を提供すること、および該投影光学系による投影露光装置、デバイス製造方法を提供することを目的とするものである。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0014】

上記課題を解決するために、本発明の一側面としての投影光学系は、第1物体の像を第2の物体上に形成する投影光学系において、前記第1物体の第1中間像を形成するための第1結像光学系と、前記第1中間像からの光束に基づいて前記第1物体の第2中間像を形成するための第2結像光学系と、前記第2中間像からの光束に基づいて前記第1物体の第3中間像を形成するための第3結像光学系と、前記第3中間像からの光束に基づいて前記第1物体の像を前記第2物体上に形成するための第4結像光学系を備えたことを特徴としている。

#### 【0015】

ここで、第1結像光学系と前記第2結像光学系のうち一方が屈折光学素子からなる光学系であり、他方が凹面反射鏡を含む光学系であることが望ましい。さらに、第3結像光学系と前記第4結像光学系のうち一方が屈折光学素子からなる光学系であり、他方が凹面反射鏡を含む光学系であると尚良い。

#### 【0016】

また、本発明の投影光学系は、第1物体の像を第2の物体上に形成する投影光学系において、前記第1物体の中間像を形成し、屈折光学素子からなる第1部分結像光学系と、前記第1物体から前記第2物体に至る光路において前記第1部分結像光学系と隣接し、凹面鏡を含み、前記第1物体の中間像を形成する第2部分結像光学系と、前記第1物体の中間像を形成し、屈折光学素子からなる第3部分結像光学系と、前記第1物体から前記第2物体に至る光路において前記第3部分結像光学系と隣接し、凹面鏡を含み、前記第1物体の中間像を形成する第4部分結像光学系とを有することを特徴としている。

#### 【0017】

また、本発明の投影光学系は、第1物体の像を第2の物体上に形成する投影光学系において、前記第1物体から前記第2物体に至る光路上で連続して配置された、屈折部材から成る結像作用を有した部分光学系と、凹面反射鏡を含む結像作用を有した部分光学系の対を2対以上有することを特徴としている。

#### 【0018】

ここで、前記投影光学系が、前記第1物体側から順に、屈折部材から成る第1結像光学系、凹面反射鏡を含む第2結像光学系、凹面反射鏡を含む第3結像光学系、屈折部材から成る第4結像光学系を有するように構成すると尚良い。

#### 【0019】

ここで、前記第1結像光学系が前記第1物体の第1中間像を形成し、前記第2結像光学系が少なくとも1つの凹面反射鏡を含み、前記第1中間像からの光束に基づいて前記第1物体の第2中間像を形成し、前記第3結像光学系が少なくとも1つの凹面反射鏡を含み、

10

20

30

40

50

前記第2中間像からの光束に基づいて前記第1物体の第3中間像を形成し、前記第4結像光学系が前記第3中間像からの光束に基づいて前記第1物体の像を前記第2物体上に形成しており、前記第1光学系と前記第2光学の間に少なくとも1つの偏向反射鏡を備え、前記第3結像光学系と前記第4結像光学系の間に少なくとも1つの偏向反射鏡を備えるように構成すると尚望ましい。

#### 【0020】

ここで、前記投影光学系は、前記第2物体に対して実質的にテレセントリックであると尚良い。さらに、前記第2結像光学系に含まれる凹面反射鏡の直前に少なくとも1つの負レンズを有していたり、前記第2結像光学系が少なくとも1つの正レンズを有したりするように構成すると尚良い。

10

#### 【0021】

また、前記第3結像光学系に含まれる凹面反射鏡の直前に少なくとも1つの負レンズを有するように、もしくは、前記第3結像光学系が少なくとも1つの正レンズを有するように構成すると尚望ましい。

#### 【0022】

また、本発明の別の側面としての露光装置は、上記のような投影光学系を有し、該投影光学系を用いて、前記第1物体の像を前記第2物体上に形成することを特徴としている。

#### 【0023】

また、本発明の露光装置は、前記第1物体を光源からの光で照明する照明光学系と、前記第1物体の像を前記第2物体上に形成する、請求項1乃至12記載の投影光学系を有することを特徴としている。

20

#### 【0024】

また、本発明の別の側面としてのデバイスの製造方法は、上述のような露光装置を用いて被露光体を露光する露光工程と、前記露光された被露光体を現像する工程とを有することを特徴としている。上述の露光装置の作用と同様の作用を奏するデバイス製造方法の請求項は、中間及び最終結果物であるデバイス自体にもその効力が及ぶ。また、かかるデバイスは、例えば、LSIやVLSIなどの半導体チップ、CCD、LCD、磁気センサー、薄膜磁気ヘッドなどを含む。

#### 【発明の効果】

#### 【0025】

本発明によれば瞳の遮光がなく、像面上で十分な大きさの結像領域幅が得られる投影光学系、およびを該投影光学系による投影露光装置、デバイス製造方法を得ることができる。

30

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0026】

以下、添付図面を参照して、本発明の一側面としての投影光学系100及び露光装置200について説明する。但し、本発明は、これらの実施例に限定するものではなく、本発明の目的が達成される範囲において、各構成要素が代替的に置換されてもよい。例えば、本発明の投影光学系100及び露光装置200は、光源にレーザーを使用しているが、必ずしもこれに限定する必要はなく、水銀ランプやキセノンランプなどのランプも使用可能である。なお、各図において、同一の部材については同一の参照番号を付し、重複する説明は省略する。

40

#### 【0027】

図1は本発明の投影光学系100の基本構成を示す。101は第1の物体（レチクル）、102は第2の物体（ウエハ）である。ここでの光学系は、物体側から順に、少なくとも第1結像光学系G1と凹面反射鏡CM21を備えた第2結像光学系G2と凹面反射鏡CM32を備えた第3結像光学系G3と第4結像光学系G4および2つの偏向反射鏡M1、M2よりなる。

#### 【0028】

第1結像光学系G1は、第1の物体101からの光束の第1結像光学系の中間像を形成

50

する。そして、第1結像光学系G1により結像した中間像からの光束は、第1の偏向反射鏡M1によって反射され、第2結像光学系に導かれ、凹面反射鏡CM21を介して第2中間像を形成する。そして、第2結像光学系G2により結像した中間像からの光束は、第3結像光学系に導かれ、凹面反射鏡を介して第3中間像を形成する。そして、第3結像光学系G3により結像した中間像からの光束は、第2の偏向反射鏡M2によって反射され、屈折部材により構成されている第4結像光学系に導かれ、第2の物体102上に所定の倍率にて結像する。この際、第2結像光学系G2から第3結像光学系G3に導かれる光束と偏向反射鏡M1、M2が干渉しないような構成となっている。

#### 【0029】

ここで、第1結像光学系により形成される中間像は第1の偏向反射鏡M1よりレチクル側に形成されていても良いし、M1よりウエハ側に形成されていても良い。勿論第3結像光学系により形成される中間像は、第2の偏向反射鏡M2よりレチクル側に形成されていても良いし、M2よりウエハ側に形成されていても構わない。

#### 【0030】

このように、4回結像光学系とすることによって、収差補正の自由度を増大させるとともに、レンズのミラー系の小径化が達成可能である。より詳細には、まず、第1結像光学系G1と第2結像光学系G2、第3結像光学系G3と第4結像光学系G4というように、すべて屈折部材からなる屈折系の部分光学系と凹面反射鏡を含む反射屈折系の部分光学系を連続した対として2対以上有することによって、ペツツバール和と軸上色収差の補正を容易にしている。

#### 【0031】

更に、ペツツバール和補正が容易ということで、第1結像光学系G1と第4結像光学系G4にペツツバール和補正の為の凹レンズを多用することなしに構成ができるため、レンズの小径化が可能となる。加えて、単一硝材の場合、色コマ収差、倍率色収差等の非対称色収差の補正が困難になるが、第1結像光学系G1と第4結像光学系G4の2つの屈折部光学系を有することによって、光束を形成する上側光線、下側光線、主光線のコントロールを容易にすることで非対称色収差の補正を容易に可能とできる。さらに、本実施の形態における光学系は瞳の遮光のない軸外光束を結像する多数回結像光学系を達成している。

#### 【0032】

さらに具体的な構成としては、第1結像光学系G1は少なくとも物体側より順に少なくとも一つ屈折部材から成り、正の屈折力を有するレンズ群Lr11と少なくとも一つの屈折部材から成り、正屈折力を有するレンズ群Lr12で構成されており、第1の物体101からの光束の第1結像光学系の中間像を偏向反射鏡M1の近傍に形成する。この為、偏向反射鏡M1を小型にすることが可能となり、第2中間像から第3結像光学系への光束との干渉除けを容易にできている。このとき、第1結像光学系の倍率 $\beta_1$ は

$$0.25 < |\beta_1| < 1.2 \quad (1-1)$$

の条件を満たすことが望ましい。

#### 【0033】

条件式(1-1)の下限値を下回る、又は、上限値を上回ると、投影光学系全系のパワーバランスが困難となり、歪曲収差やコマ収差補正が困難となる。好ましくは、

$$0.45 < |\beta_1| < 0.7 \quad (1-2)$$

の条件を満たすことが望ましい。

#### 【0034】

第2結像光学系G2は、少なくとも一つの屈折部材から成る正の屈折力を有するレンズ群Lr21と少なくとも一つの屈折部材から成る負屈折力を有するレンズ群Lr22と凹面反射鏡CM21から構成される。第1の偏向反射鏡M1によって反射された第1中間像は、凹面反射鏡CM21を介して、偏向反射鏡M1およびM2の上部近傍（下部でも構わない）に第2中間像を形成し、通過して第3結像光学系に導かれる。中間像で光束が集光している為に、偏向反射鏡M1、M2との干渉除けが容易にできている。この

10

20

30

40

50

とき、第2結像光学系の倍率 $\beta_2$ は、

$$0.7 < |\beta_2| < 1.3 \quad (2-1)$$

を満たすことが望ましい。条件式(2)の下限値を下回る、又は、上限値を上回ると、第2中間像の結像位置が、偏向反射鏡M1及びM2から離れてしまい光束分離が困難となる。

#### 【0035】

好ましくは、

$$0.9 < |\beta_2| < 1.1 \quad (2-2)$$

を満たすことが望ましい。

#### 【0036】

第3結像光学系G3は、少なくとも一つの屈折部材から成る正の屈折力を有するレンズ群Lr31と少なくとも一つの屈折部材から成る負屈折力を有するレンズ群Lr32と凹面反射鏡CM32から構成される。第2結像光学系から導かれた光束は、凹面反射鏡CM32を介して、偏向反射鏡M2の近傍に第3中間像を形成する。この為、偏向反射鏡M2を小型にすることが可能となり、第2中間像から第3結像光学系への光束との干渉除けを容易にしている。このとき、第3結像光学系の倍率 $\beta_3$ は、

$$0.7 < |\beta_3| < 1.3 \quad (3-1)$$

を満たすことが望ましい。条件式(3-1)の下限値を下回る、又は、上限値を上回ると、第3中間像の結像位置が、偏向反射鏡M2から離れてしまうため、偏向反射鏡M2の大型化を招くと同時に光束分離が困難となる。好ましくは、

$$0.9 < |\beta_3| < 1.1 \quad (3-2)$$

を満たすことが望ましい。

#### 【0037】

また、凹面反射鏡CM21の有効系を $\phi_{21}$ 、凹面反射鏡CM21での光軸105からの最軸外主光線の高さ $h_{21}$ としたとき、

$$|h_{21}/\phi_{21}| < 0.10$$

であることが好ましい。より好ましくは、

$$|h_{21}/\phi_{21}| < 0.05$$

を満たすと尚良い。

#### 【0038】

更に、このとき、凹面反射鏡CM32の有効系を $\phi_{32}$ 、凹面反射鏡CM32での光軸105からの最軸外主光線の高さ $h_{32}$ としたとき、

$$|h_{32}/\phi_{32}| < 0.10$$

であることが好ましい。より好ましくは

$$|h_{32}/\phi_{32}| < 0.10$$

を満たすと尚良い。

#### 【0039】

このように、第2結像光学系、第3結像光学系の凹面反射鏡CM21、CM32は瞳近傍に配置することで、非点収差の発生を回避する構成となっている。

#### 【0040】

また、正の屈折力をもつ第1結像光学系と第4結像光学系の屈折光学系部分によって生じる正のペツツバール和を、第2結像光学系に備わった負の屈折力を有するレンズ群Lr22と凹面反射鏡CM21と第3結像光学系に備わった負の屈折力を有するレンズ群Lr32と凹面反射鏡CM32によって生じる負のペツツバール和で実質的に補正(相殺)することができる。このとき、第1結像光学系のペツツバール和P1、第4結像光学系のペツツバール和P4は、それぞれ

$$P1 > 0, \quad P4 > 0$$

となる。また、第2結像光学系のペツツバール和P2、第3結像光学系のペツツバール和P3は

$$P2 < 0, \quad P3 < 0$$

10

20

30

40

50

となることが好ましい。

#### 【0041】

また、負屈折力を有するレンズ群L<sub>r</sub>2\_2を第2結像光学系の凹面反射鏡CM2\_1の直前に配置し、更に、負の屈折力を有するレンズ群L<sub>r</sub>3\_2を第3結像光学系の凹面反射鏡CM3\_2の直前に配置することで、光学系の大型を招くことなく、軸上色収差を効率良く補正している。

#### 【0042】

また、第2結像光学系に正の屈折力を有するレンズ群L<sub>r</sub>2\_1を配置することによって、偏向反射鏡M1で反射された第1中間像からの光束と第2結像光学系で形成される第2中間像から第3結像光学系に導かれる光束が過度に広がるのを抑えられ、光学系の小型化を図ることが可能となっている。

#### 【0043】

また、第3結像光学系に正の屈折力を有するレンズ群L<sub>r</sub>3\_1を備えることによって、第2中間像から第3結像光学系に導かれる光束と第3結像光学系から偏向反射鏡M2に導かれる光束が過渡に広がるのを抑えられ、光学系の小型化を図ることが可能となっている。

#### 【0044】

また、レチクルからウエハまでの距離L1（光路長ではなく実際の距離）と凹面反射鏡CM2\_1と凹面反射鏡CM3\_2の距離L2（光路長ではなく実際の距離）の比は

$$0.2 < |L_2 / L_1| < 1.0$$

の条件を満足することが望ましい。この条件の下限を超えると、収差補正が困難となる。また、この上限を超えると、第2結像光学系と第3結像光学系の大型化やペツツバール和の補正不足が生じてしまう。

#### 【0045】

また、レチクルからウエハまでの光路長は1400～1500mmであることが望ましい。

#### 【0046】

また、偏向反射鏡M1と偏向反射鏡M2の配置は、光軸104、105、106に対して任意の角度で配置してかまわない。例えば、偏光反射鏡M1、M2への光線入射角が小さくなるように配置することによって、偏向反射鏡の反射膜の角度特性の影響による結像性能の悪化を低減できる。ただし、第2結像光学系の光軸と第3結像光学系の光軸が1直線になるように、偏向反射鏡M1と偏向反射鏡M2は互いに平行に配置されるのが好ましい。また、偏向反射鏡M1と偏向反射鏡M2は、両面反射鏡として同一光学部品であってもかまわない。

#### 【0047】

図2は、本発明の一側面としての露光装置200の例示的一形態を示す概略ブロック図である。露光装置200は、図1に示すように、回路パターンが形成されたレチクル又はマスク（本出願ではこれらの用語を交換可能に使用する）220を照明する照明装置210と、照明されたマスクパターンから生じる回折光をプレート230に投影する投影光学系100とを有する。

#### 【0048】

露光装置200は、例えば、ステップ・アンド・リピート方式やステップ・アンド・スキャン方式でレチクル220に形成された回路パターンをプレート230に露光する投影露光装置である。かかる露光装置は、サブミクロンやクオーターミクロン以下のリソグラフィー工程に好適であり、以下、本実施形態ではステップ・アンド・スキャン方式の露光装置（「スキャナー」とも呼ばれる）を例に説明する。ここで、「ステップ・アンド・スキャン方式」は、レチクルに対してウェハを連続的にスキャン（走査）してマスクパターンをウェハに露光すると共に、1ショットの露光終了後ウェハをステップ移動して、次の露光領域に移動する露光方法である。「ステップ・アンド・リピート方式」は、ウェハのショットの一括露光ごとにウェハをステップ移動して次の露光領域に移動する露光方法で

10

20

30

40

50

ある。

**【0049】**

照明装置210は転写用の回路パターンが形成されたレチクル220を照明し、光源部212と照明光学系214とを有する。

**【0050】**

光源部212は、例えば、光源としてレーザーを使用する。レーザーは、波長約193 nmのArFエキシマレーザー、波長約248 nmのKrFエキシマレーザー、波長約156 nmのF<sub>2</sub>エキシマレーザーなどを使用することができるが、レーザーの種類はエキシマレーザーに限定されず、例えば、YAGレーザーを使用してもよいし、そのレーザーの個数も限定されない。例えば、独立に動作する2個の固体レーザーを使用すれば固体レーザー相互間のコヒーレンスはなく、コヒーレンスに起因するスペックルはかなり低減する。さらにスペックルを低減するために光学系を直線的又は回転的に揺動させてもよい。光源部212にレーザーが使用される場合には、レーザー光源からの平行光束を所望のビーム形状に整形する光束整形光学系、コヒーレントなレーザー光束をインコヒーレント化するインコヒーレント化光学系を使用することが好ましい。

10

**【0051】**

照明光学系214は、レチクル220を照明する光学系であり、レンズ、ミラー、ライトインテグレーター、絞り等を含む。例えば、コンデンサーレンズ、ハエの目レンズ、開口絞り、コンデンサーレンズ、スリット、結像光学系の順で整列する等である。照明光学系214は、軸上光、軸外光を問わず使用することができる。ライトインテグレーターは、ハエの目レンズや2組のシリンドリカルレンズアレイ（又はレンチキュラーレンズ）板を重ねることによって構成されるインテグレーター等を含むが、光学ロッドや回折素子に置換される場合もある。

20

**【0052】**

レチクル220は、例えば、石英製で、その上には転写されるべき回路パターン（又は像）が形成され、図示しないレチクルステージに支持及び駆動される。レチクル220から発せられた回折光は投影光学系100通りプレート230上に投影される。レチクル220とプレート230とは共役の関係に配置される。露光装置200は、ステップ・アンド・スキャン方式の露光装置であるため、レチクル220とプレート230を走査することによりマスクパターンをプレート230上に縮小投影する。

30

**【実施例1】**

**【0053】**

実施例1の具体的なレンズ構成を図3に示す。図3の屈折光学系の第1結像光学系は、物体側から順に正の屈折力を有する屈折レンズ群Lr11、正の屈折力を有する屈折レンズ群Lr12より構成される。正の屈折レンズ群Lr11はレチクル側から光の進行方向に沿って、レチクル側に非球面の凸面を向けた正メニスカスレンズL111と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL112、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL113と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL114とレチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL115から構成されている。正のレンズ群Lr12は、非球面の凹面をレチクル側に向けた正メニスカスレンズL121と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL122と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL123と両凸レンズのL124から構成されている。

40

**【0054】**

第1結像光学系と第2結像光学系の間に第1結像光学の光軸102且つ第2及び第3結像光学系の光軸105に対して45°に偏向反射鏡M1が配置され、第1中間像からの光束を第2結像光学系へと導く。

**【0055】**

また、第2結像光学系は、第1結像系からの光の進行方向にそって、両凸レンズのL211と凹面を偏向反射鏡M1に向け裏面が非球面の負メニスカスレンズL221と凹面を偏向反射鏡M1に向けた凹面反射鏡CM21から構成されている。

50

**【0056】**

また、第3結像光学系は、第2結像光学系からの光の進行方向にそって、両凸レンズL311と負の屈折力を有する屈折レンズ群Lr32と第2結像光学系に凹面を向けた凹面反射鏡CM32から構成されている。さらに、負の屈折レンズ群Lr32は凹面を第2結像光学系に向けた負メニスカスレンズL321と凹面を第2結像光学系に向けた負メニスカスレンズL322で構成されている。

**【0057】**

第3結像光学系と第4結像光学系との間に第2及び第3結像光学系の光軸105且つ第4結像光学系106に対して45°に偏向反射鏡M2が配置され、第3中間像からの光束を第4結像光学系へと導く。偏向反射鏡M1と偏向反射鏡M2は、両面偏向反射鏡として同一光学部品として扱っても、個別光学部品と扱ってもどちらでも良い。このとき、第2結像光学系から第3結像光学系への光束と偏向反射鏡M1、M2とは互いに干渉しないよう配置されている。

**【0058】**

更に、第4結像光学系は、第3結像光学系からの光の進行方向に沿って、非球面の凹面をウエハ側に向けた正メニスカスレンズL401と凹面を両凸レンズL402と両凹レンズL403と、凸面を偏向反射鏡M2に向けた正メニスカスレンズL404と、両凹レンズL405と、非球面の凹面をウエハ側に向けた正メニスカスレンズL406と、両凸レンズL407と両凸レンズのL408と、凹面をウエハ側に向けた正メニスカスレンズL409と、凸面を偏向反射鏡M2に向けた正メニスカスレンズL410と、非球面の凸面を偏向反射鏡M2に向けた負メニスカスレンズL411と非球面の凸面を偏向反射鏡M2に向けた平凸レンズL412から構成されている。また、開口絞りは、L405とL406の間に配置されている。

**【0059】**

本実施例は、像側の開口数はNA=0.80、縮小倍率1/4、硝材としては萤石を用いている。物像間距離（第1の物体面～第2の物体面）はL=約1477mmである。第1物体の物高のおよそ14.00mm～68.00mmの範囲の光束が、偏向反射鏡M1とM2との干渉無しに第2物体上に結像する。少なくとも長さ方向で26mm、幅で7mm程度の矩形のスリット状の露光領域を確保することができる。また、本実施例の縦収差図を図4に及び横収差図を図5に示す。図5は基準波長157.6nm及び±0.6pmの波長について表示している。基準波長157.6nm及び±0.6pmでの色収差及び球面収差、コマ収差、非点収差、歪曲収差が良好に補正されているのがわかる。また、本実施例の凹面反射鏡の最大径は216mm以下かつレンズ最大有効径は210mm以下となっており、小型化も図られている。

**【0060】**

また、本実施例において偏向反射鏡の配置は、光軸104、105、106に対して45°の角度配置と限定するものでは無い。偏向反射鏡M1、M2への光線最大入射角を小さくするように、光軸104、105、106に対して任意の角度で配置してかまわない。ただし、偏向反射鏡M1、M2は互いに平行に配置されるのが好ましい。例として図6に、偏向反射鏡M1、M2を光軸105に対して40度に配置した場合を示す。偏向反射鏡M1、M2は収差補正には寄与していない為、全系の収差は図4及び図5と同じになるが、前述した様に、反射膜の光線入射角度特性やそれによって生じる結像性能への影響の点において有利となる。

**【実施例2】****【0061】**

実施例2の具体的なレンズ構成を図7に示す。図7の屈折光学系の第1結像光学系は、物体側から順に正の屈折力を有する屈折レンズ群Lr11、正の屈折力を有する屈折レンズ群Lr12より構成される。正の屈折レンズ群Lr11はレチクル側から光の進行方向に沿って、レチクル側に非球面の平面を向けた平凸レンズL111と、両凸レンズL112、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL113と、レチクル側に凹面を向け

10

20

30

40

50

た正メニスカス L 1 1 4 とレチクル側に凹面を向けた正メニスカス L 1 1 5 から構成されている。正のレンズ群 L r 1 2 は、非球面の凹面をレチクル側に向けた正メニスカスレンズ L 1 2 1 と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズ L 1 2 2 と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカス L 1 2 3 と両凸レンズの L 1 2 4 とレチクル側に凸面を向けた正のメニスカスレンズ L 1 2 5 から構成されている。

#### 【0 0 6 2】

第1結像光学系と第2結像光学系の間に光軸 1 0 5 に対して 4 5° に偏向反射鏡 M 1 が配置され、第1中間像からの光束を第2結像光学系へと導く。

#### 【0 0 6 3】

また、第2結像光学系は、第1結像系からの光の進行方向にそって、両凸レンズの L 2 1 1 と凹面を偏向反射鏡 M 1 に向け、反対面が非球面の負メニスカスレンズ L 2 2 1 と凹面を偏向反射鏡 M 1 に向けた凹面反射鏡 C M 2 1 から構成されている。

#### 【0 0 6 4】

また、第3結像光学系は、第2結像系からの光の進行方向にそって、正の屈折力を有する屈折レンズ群 L r 3 1 と負の屈折力を有する屈折レンズ群 L r 3 2 と第2結像光学系に凹面を向けた凹面反射鏡 C M 3 2 から構成されている。正の屈折レンズ群 L r 3 1 は、両凸レンズの L 3 1 1 と凸面を第2結像光学系に向けた負メニスカスレンズ L 3 1 2 から構成されている。さらに、負の屈折レンズ群 L r 3 2 は非球面の凹面を第2結像光学系に向けた負メニスカスレンズ L 3 2 1 と凹面を第2結像系に向けた負メニスカスレンズ L 3 2 2 で構成されている。

#### 【0 0 6 5】

第3結像光学系と第4結像光学系との間に光軸 1 0 5 に対して 4 5° に偏向反射鏡 M 2 が配置され、第3中間像からの光束を第4結像光学系へと導く。本実施例の場合は偏向反射鏡 M 1 と偏向反射鏡 M 2 は、両面偏向反射鏡として同一光学部品として扱っている。このとき、第2結像光学系からの光束が第3結像光学系に導かれる場合に、干渉しないよう両面偏向反射鏡は配置されている。偏向反射鏡 M 1 と偏向反射鏡 M 2 の別光学部品として扱ってもかまわない。

#### 【0 0 6 6】

更に、第4結像光学系は、第3結像光学系からの光の進行方向に沿って、非球面の凸面をウエハ側に向けた正メニスカスレンズ L 4 0 1 と両凸レンズ L 4 0 2 と凹面をウエハ側に向けた正メニスカスレンズ L 4 0 3 と、非球面の凸面を偏向反射鏡 M 2 に向けた両凸レンズ L 4 0 4 と、凹面を偏向反射鏡 M 2 に向けた負メニスカスレンズ L 4 0 5 と、非球面の凹面をウエハ側に向けた負メニスカスレンズ L 4 0 6 と、両凸レンズ L 4 0 7 と両凸レンズの L 4 0 8 と、凹面をウエハ側に向けた正メニスカスレンズ L 4 0 9 と、凹面をウエハ側に向けた負メニスカスレンズ L 4 1 0 と非球面の凸面を偏向反射鏡 M 2 に向けた正メニスカスレンズ L 4 1 1 と、平面をウエハ側に向けた平凸レンズ L 4 1 2 から構成されている。また、開口絞りは、L 4 0 7 と L 4 0 8 の間に配置されている。

#### 【0 0 6 7】

本実施例は、像側の開口数は  $N\ A = 0.85$  、縮小倍率  $1/4$  、硝材としては萤石を用いている。物像間距離（第1の物体面～第2の物体面）は  $L = \text{約 } 1463\text{ mm}$  である。第1物体の物高のおよそ  $-14.00\text{ mm} \sim -68.00\text{ mm}$  の範囲の光束が、偏向反射鏡 M 1 と M 2 との干渉無しに第2物体上に結像する。少なくとも長さ方向で  $26\text{ mm}$  、幅で  $7\text{ mm}$  程度の矩形の露光領域を確保できる。また、本実施例の縦収差図を図8及び横収差図を図9に示す。図9は基準波長  $157.6\text{ nm}$  及び  $\pm 0.6\text{ pm}$  の波長について表示している。基準波長  $157.6\text{ nm}$  及び  $\pm 0.6\text{ pm}$  での色収差及び球面収差、コマ収差、非点収差、歪曲収差が良好に補正されているのがわかる。また、本実施例の凹面反射鏡の最大径は  $241\text{ mm}$  となっており、さらに、レンズ有効径は L 3 2 2 が  $236\text{ mm}$  で、それ以外のレンズの最大有効径は  $211\text{ mm}$  となっており、小型化も図られている。

#### 【0 0 6 8】

以下に、上記実施例1、実施例2の数値実施形態の構成諸元を、それぞれの実施例と対

10

20

30

40

50

応させて第1表～第2表を示す。なお、表の第1列はレチクルから光の進行方向に沿った面番号を表す。第2列は、各面の曲率半径を表す。第3列は各面の軸上間隔を表す。第4列は、中心波長に対する屈折率を表す。曲率半径は、第1結像光学系と第4結像光学系においては、レチクル側の凸面を正とし、ウエハ側の凸面を負としている。第2結像光学系と第3結像光学系では凹面反射鏡CM21側の凸面を正とし、凹面反射鏡CM32の方向を負としている。各面の軸上間隔は、レチクルから偏向反射鏡M1までの間と、第2結像光学系の凹面反射鏡CM21から第3結像光学系の凹面反射鏡CM32までの間と、偏向反射鏡M2から像面までの間は正で表している。偏向反射鏡M1から第2結像系の凹面反射鏡の間と、第3結像光学系の凹面反射鏡CM32と偏向反射鏡M2の間は負の間隔で表している。レンズ硝材CaF2は、基準波長 $\lambda = 157.6\text{ nm}$ に対する屈折率を1.56としている。また、基準波長に対する+0.6pm及び-0.6pmの波長の屈折率は、各々1.55999853、1.560000147である。また、非球面の形状は次式

10

$$X = (H^2/4) / (1 + ((1 - (1 + k) \cdot (H/r)^2))^{1/2}) + AH^4 + BH^6 + CH^8 + DH^{10} + EH^{12} + FH^{14} + GH^{16}$$

にて与えられるものとする。ここに、Xはレンズ頂点から光軸方向への変位量、Hは光軸からの距離、r<sub>i</sub>は曲率半径、kは円錐定数、A、B、C、D、E、F、Gは非球面係数である。

20

【0069】

【表1】

第1表-1	
L = 1477 mm	
$\beta = 1/4$	
NA = 0.80	
L OBJ = 14.0 mm	
H OBJ = 68.0 mm	
$\beta_1$   = 0.648	
$\beta_2$   = 1.005	
$\beta_3$   = 0.904	
$h_{21}/\phi_{21}$   = 0.0013	
$h_{32}/\phi_{32}$   = 0.0440	
$L_2/L_1$   = 0.578	

30

【0070】

【表2】

第1表-2-1

面番号 レチクル	曲率半径 (mm)	軸上間隔 (mm)	硝材	
1	467.32930	35.600223 20.00000	非球面	CaF2 L111
2	675.96574	17.01181		
3	-2567.28533	16.84089		CaF2 L112
4	-496.78771	1.00000		
5	363.14615	15.00000		CaF2 L113
6	401.15085	94.85127		
7	-250.36492	35.15204		CaF2 L114
8	-166.50550	1.00000		
9	169.15560	35.33467		CaF2 L115
10	1344.86646	195.63152		
11	-204.28847	18.04991	非球面	CaF2 L121
12	-126.73659	6.43980		
13	-486.06894	15.00000		CaF2 L122
14	-551.09178	23.96905		
15	-489.84731	28.03376		CaF2 L123
16	-136.55294	1.19364		
17	580.58618	27.50281		CaF2 L124
18	-241.27281	105.47591		
19	0.00000	-100.00000		M1
20	-290.82024	-39.26952		CaF2 L211
21	350.59898	-279.84325		
22	113.43087	-15.00000		CaF2 L221
23	449.82215	-27.11672	非球面	
24	206.83970	27.11672		CM21
25	449.82215	15.00000	非球面	CaF2 L221
26	113.43087	279.84325		
27	350.59898	39.26952		CaF2 L211
28	-290.82024	219.50000		
29	315.62566	28.60302		CaF2 L311
30	-416.39005	145.60797		

【0071】

30

10

20

【表3】

第1表-2-2

31	-130.81858	15.10452		CaF2	L321
32	-249.42129	31.62112			
33	-254.30313	15.00000		CaF2	L322
34	-917.40231	37.16999			
35	-226.20305	-37.16999			CM32
36	-917.40231	-15.00000		CaF2	L322
37	-254.30313	-31.62112			
38	-249.42129	-15.10452		CaF2	L321
39	-130.81858	-145.60797			
40	-416.39005	-28.60302		CaF2	L311
41	315.62566	-100.00000			
42	0.00000	100.00000			M2
43	255.81963	21.12232		CaF2	L401
44	3647.65342	6.69101	非球面		
45	262.90602	33.17363		CaF2	L402
46	-720.51135	72.05926			
47	-4395.56722	25.03648		CaF2	L403
48	769.23077	150.00000			
49	209.49781	31.65108		CaF2	L404
50	11546.05349	31.37785			
51	-158.13492	23.00000		CaF2	L405
52	1499.99250	9.06817			
53	0.00000	0.00000			(開口絞り 103)
54	316.72090	20.00000		CaF2	L406
55	333.33153	8.21878	非球面		
56	289.05453	51.07053		CaF2	L407
57	-243.71414	1.00000			
58	9191.82780	22.40767		CaF2	L408
59	-453.98980	1.00000			
60	173.66731	27.34561		CaF2	L409
61	276.67305	1.00000			
62	155.14066	35.26405		CaF2	L410
63	450.16413	29.52502			
64	135.36488	37.31768		CaF2	L411
65	108.79767	1.00000			
66	92.89388	35.58357	非球面	CaF2	L412
67	0.00000	10.00001			

【0072】

10

20

30

【表4】

第1表-3

非球面データ					
面番号	K	A	B	C	
1	0.000000E+00	-1.400302E-08	-2.079257E-12	-6.709386E-17	
11	0.000000E+00	-1.503689E-07	-3.553743E-12	-4.484818E-16	
23	0.000000E+00	7.171232E-10	1.228616E-14	3.899085E-18	
25	0.000000E+00	7.171232E-10	1.228616E-14	3.899085E-18	
49	0.000000E+00	4.227501E-08	8.881595E-14	4.872017E-18	
60	0.000000E+00	5.035177E-08	9.339843E-14	-3.327713E-17	
71	0.000000E+00	1.222696E-07	-1.468489E-12	-6.355706E-15	
面番号	D	E	F	G	
1	1.493275E-20	-4.116263E-24	4.594198E-28	-2.144160E-32	
11	2.084882E-19	-7.039582E-23	1.032093E-26	-5.337000E-31	
23	-5.912644E-22	5.615374E-26	-2.794693E-30	5.721151E-35	
25	-5.912644E-22	5.615374E-26	-2.794693E-30	5.721151E-35	
49	-2.797074E-21	4.069969E-25	-3.114669E-29	9.913740E-34	
60	-2.304657E-21	3.111426E-25	-1.560512E-29	3.271861E-34	
71	-3.844360E-18	1.519621E-21	-5.340466E-25	5.866833E-29	

【0073】

【表5】

第2表-1

L = 1463 mm
$\beta = 1/4$
NA = 0.85
L OBJ = 14.0 mm
H OBJ = 68.0 mm
$ \beta_1  = 0.533$
$ \beta_2  = 1.010$
$ \beta_3  = 1.010$
$ h_{21}/\phi_{21}  = 0.042$
$ h_{32}/\phi_{32}  = 0.038$
$ L_2/L_1  = 0.453$

【0074】

10

20

30

【表 6】

第2表-2-1

面番号	曲率半径 (mm)	軸上間隔 (mm)	硝材		
レチクル		101.714103			
1	0.000000	15.000000	非球面	CaF2	L111
2	-464.724390	5.411253			
3	1658.612980	28.000000		CaF2	L112
4	-981.573590	73.820600			
5	-4000.000450	37.000000		CaF2	L113
6	-254.617900	9.444165			
7	-580.381880	35.000000		CaF2	L114
8	-334.027610	1.000000			
9	-5739.992810	35.000000		CaF2	L115
10	-725.698400	220.654825			
11	-194.004190	25.000000	非球面	CaF2	L121
12	-131.106550	1.000000			
13	-389.553880	16.125290		CaF2	L122
14	-216.245660	1.000000			
15	-1162.322040	17.083371		CaF2	L123
16	-307.904610	1.000000			
17	1179.012890	28.234047		CaF2	L124
18	-227.989320	1.000000			
19	218.819580	16.637880		CaF2	L125
20	501.635100	84.000000			
21	0.000000	-80.937130			M1
22	-247.379170	-24.871683		CaF2	L211
23	347.580830	-182.386706			
24	119.682440	-15.000000		CaF2	L221
25	349.762960	-40.408902	非球面		
26	217.734270	40.408902			CM21
27	349.762960	15.000000	非球面	CaF2	L221
28	119.682440	182.386706			
29	347.580830	24.871683		CaF2	L211
30	-247.379170	104.831800			

【0075】

【表7】

第2表-2-2

31	153.054370	31.416439		CaF2	L311
32	-1435.920410	34.172829			
33	244.106860	24.198268		CaF2	L312
34	133.072130	117.640255			
35	-245.633720	15.000000	非球面	CaF2	L321
36	-638.836870	31.528406			
37	-161.656510	15.704064		CaF2	L322
38	-322.066440	26.293829			
39	-181.316640	-26.293829			
40	-322.066440	-15.704064		CaF2	CM32 L322
41	-161.656510	-31.528406			
42	-638.836870	-15.000000		CaF2	L321
43	-245.633720	-117.640255	非球面		
44	133.072130	-24.198268		CaF2	L312
45	244.106860	-34.172829			
46	-1435.920410	-31.416439		CaF2	L311
47	153.054370	-10.000000			
48	0.000000	100.000000			M2
49	-266.939550	22.900998		CaF2	L401
50	-172.716860	12.963084	非球面	CaF2	L402
51	598.178100	18.720021			
52	-1255.552050	26.172551			
53	226.449410	24.804754		CaF2	L403
54	557.640800	121.321629			
55	305.031390	26.159811	非球面	CaF2	L404
56	-1309.707130	29.508330			
57	-182.230350	23.000000		CaF2	L405
58	-620.564630	25.637307			
59	0.000000	-24.325611			(開口絞り 103)
60	269.710740	20.000000		CaF2	L406
61	276.187120	22.176403	非球面	CaF2	L407
62	459.910500	41.000000			
63	-316.833120	31.426092			
64	473.240870	37.708029		CaF2	L408
65	-447.191270	1.000000			
66	173.291070	39.993486		CaF2	L409
67	505.906560	1.000000			
68	135.898240	39.931548		CaF2	L410
69	119.919700	1.000000			
70	101.826370	39.776040	非球面	CaF2	L411
71	1045.254480	1.000000			
72	276.688010	15.000000		CaF2	L412
73	0.000000	12.000000			

【0076】

【表8】

第2表-3

非球面データ		A	B	C
面番号	K			
1	0.000000E+00	-3.992695E-08	-3.762461E-13	-1.746704E-17
13	0.000000E+00	-7.715428E-08	-5.531437E-15	-1.774654E-16
27	0.000000E+00	-1.885377E-10	-3.258283E-13	-4.688285E-18
29	0.000000E+00	-1.885377E-10	-3.258283E-13	-4.688285E-18
38	0.000000E+00	2.540717E-08	1.420804E-12	-4.055943E-17
46	0.000000E+00	2.540717E-08	1.420804E-12	-4.055943E-17
53	0.000000E+00	1.181708E-08	1.853792E-13	-1.075427E-18
58	0.000000E+00	-1.011038E-08	-9.813570E-13	-9.854661E-18
66	0.000000E+00	3.277780E-08	9.660172E-13	-3.654886E-17
75	0.000000E+00	-2.767168E-08	-6.267574E-12	-1.397561E-15
面番号	D	E	F	G
1	-6.205034E-22	-8.358706E-27	5.457266E-31	-1.731552E-34
13	7.028056E-21	-1.912139E-24	1.822306E-28	-1.236380E-32
27	1.452891E-21	-9.884595E-26	1.489457E-30	1.409861E-34
29	1.452891E-21	-9.884595E-26	1.489457E-30	1.409861E-34
38	-7.563996E-21	1.658532E-24	-1.430592E-28	4.904179E-33
46	-7.563996E-21	1.658532E-24	-1.430592E-28	4.904179E-33
53	-9.477267E-22	-3.192149E-26	4.933355E-31	-7.854567E-34
58	4.668642E-22	-2.612181E-25	1.453807E-29	-4.988744E-34
66	-4.543116E-21	8.265423E-25	-5.367959E-29	1.689824E-33
75	-6.541470E-20	-3.949728E-23	1.208998E-26	-9.294228E-31

## 【0077】

上に説明した各実施形態によれば、157.6 nmといった露光波長の短波長化や高NA化に対応することができ、瞳の中心部分の遮光（中抜け）がおこらず、ビームスプリッタのような素子を用いることなく小型化することができ、十分な像側作動距離、及び高い解像力や広い露光領域を確保できる投影光学系を実現することができる。

## 【0078】

また、本発明は上述の実施形態の構成に限定されるものではない。例えば、光源の狭帯域化により、凹面反射鏡の直前の凹レンズが不要になる場合もある。

## 【0079】

次に、図10及び図11を参照して、上述の実施形態にかかる露光装置100を利用したデバイス製造方法の実施例を説明する。図4は、デバイス（ICやLSIなどの半導体チップ、LCD、CCD等）の製造を説明するためのフローチャートである。ここでは、半導体チップの製造を例に説明する。ステップ1（回路設計）では、デバイスの回路設計を行う。ステップ2（マスク製作）では、設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。ステップ3（ウェハ製造）では、シリコンなどの材料を用いてウェハを製造する。ステップ4（ウェハプロセス）は、前工程と呼ばれ、マスクとウェハを用いてリソグラフィー技術によってウェハ上に実際の回路を形成する。ステップ5（組み立て）は、後工程と呼ばれ、ステップ4によって作成されたウェハを用いて半導体チップ化する工程であり、アッセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の工程を含む。ステップ6（検査）では、ステップ5で作成された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テストなどの検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、それが出荷される。

## 【0080】

図5は、ステップ4のウェハプロセスの詳細なフローチャートである。ステップ11（酸化）では、ウェハの表面を酸化させる。ステップ12（CVD）では、ウェハの表面に絶縁膜を形成する。ステップ13（電極形成）では、ウェハ上に電極を蒸着などによって形成する。ステップ14（イオン打ち込み）では、ウェハにイオンを打ち込む。ステップ

10

20

30

40

50

15 (レジスト処理) では、ウェハに感光剤を塗布する。ステップ16 (露光) では、露光装置100によってマスクの回路パターンをウェハに露光する。ステップ17 (現像) では、露光したウェハを現像する。ステップ18 (エッチング) では、現像したレジスト像以外の部分を削り取る。ステップ19 (レジスト剥離) では、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行うことによってウェハ上に多重に回路パターンが形成される。本実施形態のデバイス製造方法によれば、要求される重ね合わせ精度を達成することができるので従来よりも高品位のデバイスを製造することができる。このように、かかる露光装置100を使用するデバイス製造方法、並びに結果物としてのデバイスも本発明の一側面として機能するものである。

## 【図面の簡単な説明】

10

## 【0081】

【図1】本発明の反射屈折光学系の基本的な構成を示す概略図である。

【図2】本発明の反射屈折光学系を搭載した露光装置の基本的な構成を示す概略図である。

【図3】第1実施例にかかる反射屈折光学系のレンズ構成を示す図である。

【図4】第1実施例にかかる反射屈折光学系の縦収差を示す図である。

【図5】第1実施例にかかる反射屈折光学系の横収差を示す図である。

【図6】第1実施例の偏向反射鏡配置を変えたレンズ構成を示す図である。

【図7】第2実施例にかかる反射屈折光学系のレンズ構成を示す図である。

【図8】第2実施例にかかる反射屈折光学系の縦収差を示す図である。

20

【図9】第2実施例にかかる反射屈折光学系の横収差を示す図である。

【図10】デバイス（ICやLSIなどの半導体チップ、LCD、CCD等）の製造を説明するためのフローチャートである。

【図11】図10に示すステップ4のウェハプロセスの詳細なフローチャートである。

## 【符号の説明】

## 【0082】

101 第1の物体

30

102 第2の物体

103 開口絞り

104 第1結像光学系の光軸

105 第2結像光学系と第3結像光学系の光軸

106 第4結像光学系の光軸

G1 第1結像光学系

G2 第2結像光学系

G3 第3結像光学系

G4 第4結像光学系

Lr 各レンズ群

L 各レンズ

M 各偏向反射鏡

CM 各凹面反射鏡

40

200 露光装置

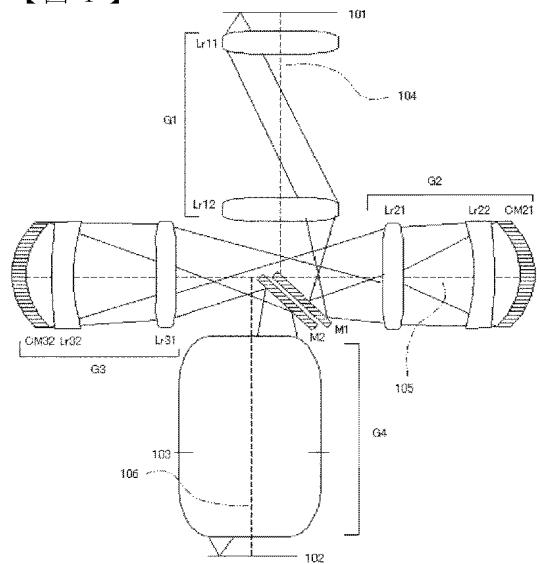
210 照明装置

220 レチクル

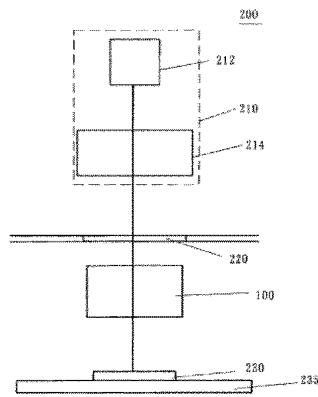
230 プレート

235 プレートステージ

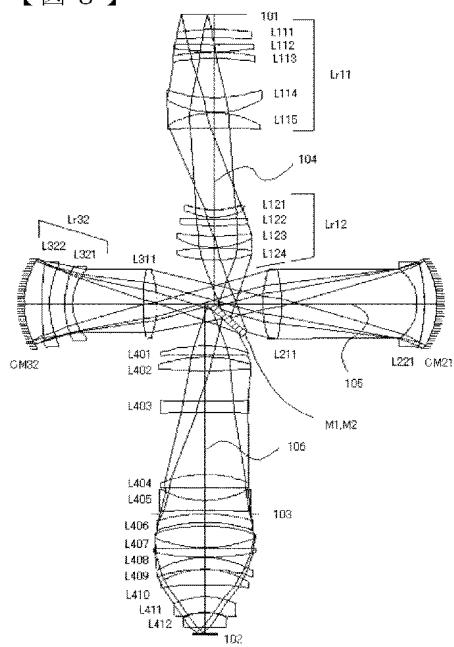
【図 1】



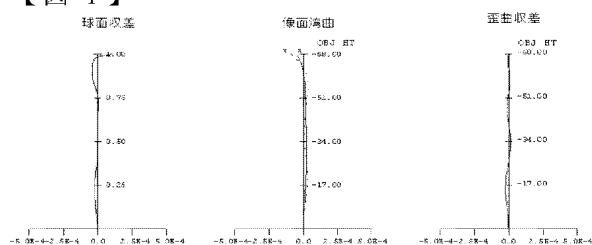
【図 2】



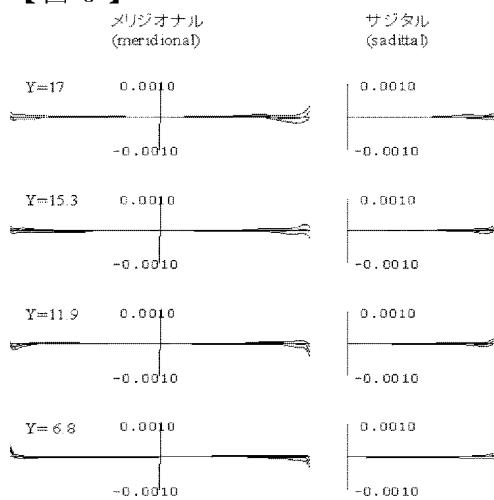
【図 3】



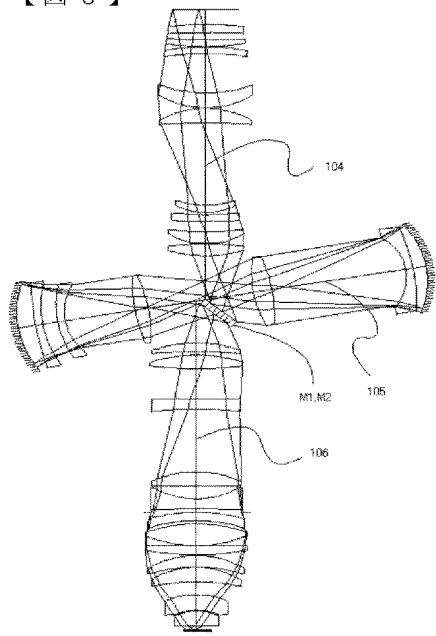
【図 4】



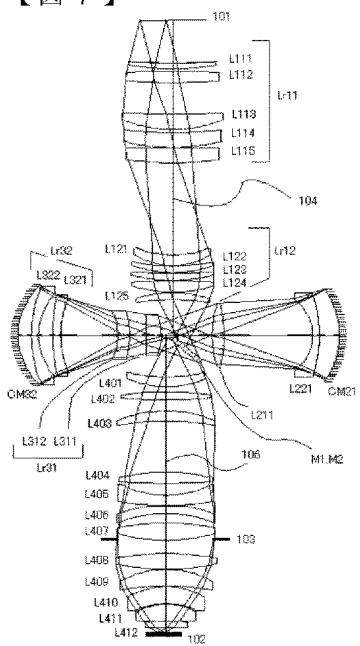
【図 5】



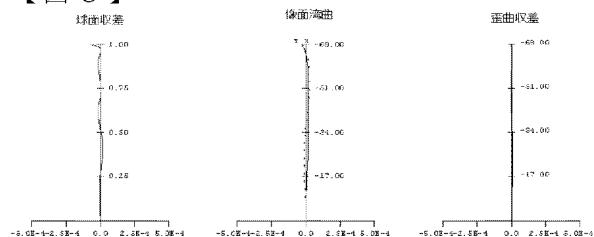
【図 6】



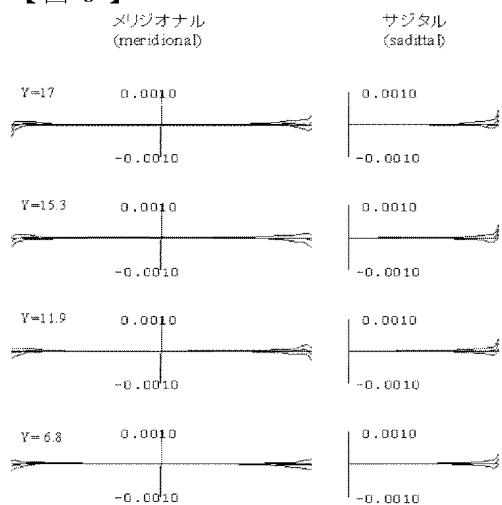
【図 7】



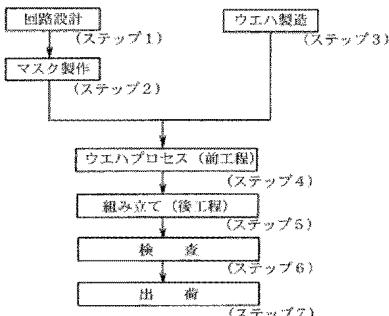
【図 8】



【図 9】



【図 10】



【図 1 1】

